MAPA GEOLÓGICO DE LA CORDILLERA OCCIDENTAL DEL ECUADOR ENTRE 0° - 1° N

ESCALA 1:200.000

AUSPICIO

El levantamiento geológico fue llevado a cabo como parte del Programa de Información Cartográfica y Geológica de PRODEMINCA Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental, financiado por los Gobiernos de Ecuador (MEM, Ministerio de Energía y Minas) y del Reino Unido (DFID, Department for International Development) y el Banco Mundial. El trabajo fue realizado por geólogos del British Geological Survey (BGS), DINAGE Dirección Nacional de Geología (MEM) y consultores independientes.

Levantamiento geológico por: M.P Boland, L.F Pilatasig, C.E Ibadango W.J McCourt, J.A. Aspden, R.A. Hughes y B. Beate
Compilado por: M.P Boland, W.J McCourt, y B. Beate
Supervisión geológica: Misión Geológica Británica
Jefe de la Misión Británica: J.A. Aspden
Ministro de Energía y Minas: Pablo Terán
Subsecretario de Minas: César Espinosa
Cordinador General de Prodeminca: Antonio Bermeo

La autorización para el uso y publicación de la base topográfica fue otorgado por el Instituto Geográfico Militar (IGM) mediante Autorización N° IGM-9811023, del 12 de noviembre 1998

SECUENCIAS VOLCÁNICAS MIOCÉNICAS - HOLOCÉNICAS EN LA PARTE ORIENTAL DEL MAPA 0° - 1°N

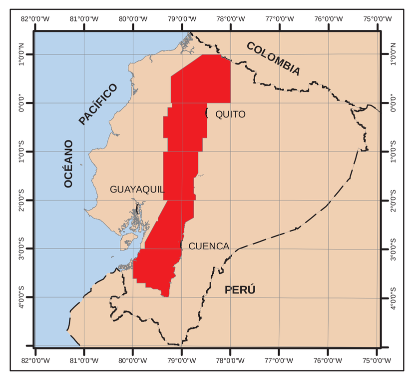
HOLOCENO / PLIOCENO (TARDÍO, MEDIO, TEMPRANO) / MIOCENO

- Pul — Pululahua
- Cui — Cuicocha
- Prb — Piribuela
- Imb — Imbabura
- Pil — Pilavo
- Ch — Chachimbiro
- Cb — Cubilche
- Hg — Hugá
- Hll — Huanguillaro
- FF — Fuya Fuya
- Moj — Mojanda
- Ig — Iguan
- Cz — Chilatazón
- Cot — Cotacachi
- Ya — Yanaurco
- Ca — Cayambe (antiguo)
- Cus — Cusín
- Csh — Cushnirrumi
- Pl-P$_D$ — Relleno del valle interandino
- M-Pl Pn — Volcánicos de Pugarán
- M-Pl$_{Ang}$ — Volcánicos de Angochagua
- M — Rocas metamórficas

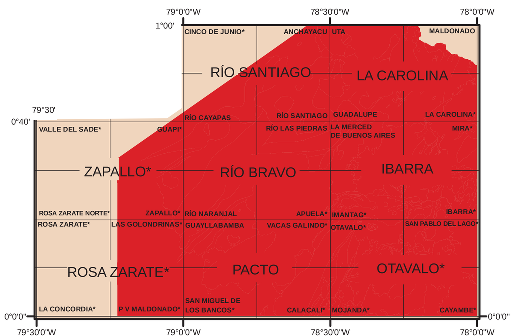
Secuencia inferida de centros volcánicos determinados en base a relaciones morfológicas y algunas edades radio métricas. Los depósitos relacionados a cada centro, que sno identificados por códigos relevantes, han sido separados basados en la litología.

LEYENDA ESTRATIGRÁFICA SIN ESCALA VERTICAL

	NW de la Falla Canande	NW de la Falla Toachi	E de la Falla Toachi
CUATERNARIO	Q_V Depósitos volcánicos indiferenciados	Q_V Depósitos volcánicos indiferenciados	Ver leyenda de secuencias volcánicas Miocénicas-Holocénicas en la parte oriental del mapa 0°-1°N
TERCIARIO — PLIOCENO			
TERCIARIO — MIOCENO			M_{Ch} Formación Chota
TERCIARIO — OLIGOCENO	O_P Formación Playa Rica	OM_{SJL} Unidad San Juan de Lachas	OM_{SJL} Unidad San Juan de Lachas
TERCIARIO — EOCENO	E_Z Unidad Zapallo	E_Z E_{TO} Unidad Tortugo	EO_{SI}, E_L, E_{RC} Unidad Silante
TERCIARIO — PALEOCENO		PC_C Unidad La Cubera	
CRETACEO — SENONIANO — MAESTRICHTIANO / CAMPANIANO / SANTONIANO	K_{RD} Unidad Río Desgracia	Unidad Colorado K_{Co}; K_{Na} Unidad Naranjal	Unidad Pilatón K_{Pl}, K_{Ml}; K_Y, K_N, K_{RC} Unidad Yunguilla; K_{Pa} Unidad Pallatanga

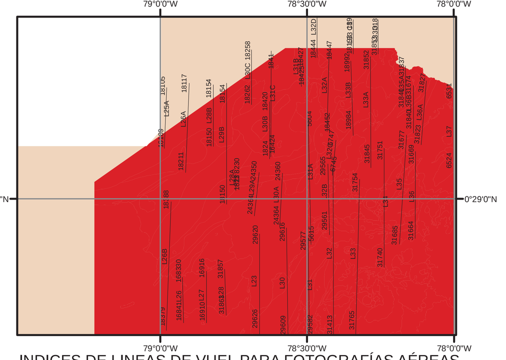


MAPA DEL ECUADOR CON LA UBICACIÓN DE LA CORDILLERA OCCIDENTAL Y ÁREA DE ESTUDIO



HOJAS TOPOGRÁFICAS PUBLICADAS A ESCALAS 1:100.000 Y 1:50.000

NOTA_ HOJAS CON ASTERISCO SON PUBLICADAS POR EL INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR Y HOJAS SIN ASTERISCO FUERON ELABORADAS POR LA MISIÓN BRITÁNICA NE BASE A IMÁGENES LANDSAT Y FOTOGRAFÍAS AÉREAS



INDICES DE LINEAS DE VUEL PARA FOTOGRAFÍAS AÉREAS RELACIONADO A LOS MAPAS TOPOGRÁFICOS 1:100.000

ROCAS VOLCÁNICAS/VOLCANICLASTICAS

- R^D Dacita
- A^A Andesita
- A^B Toba dacítica
- Avl Depósitos de avalancha
- B^B Basalto
- p^B Lavas almohadilladas
- b Brecha

ROCAS INTRUSIVAS

- G Granitoide
- G^{Gd} Granodiorita
- G^{Qm} Cuarzomonzonita
- G^{Qd} Cuarzodiorita
- G^T Tonalita
- D^D Diorita
- D^G Gabro

prefijos: s=micro

ROCAS INTRUSIVAS

- R^R Riolita
- R^D Dacita

ROCAS SEDIMENTARIAS

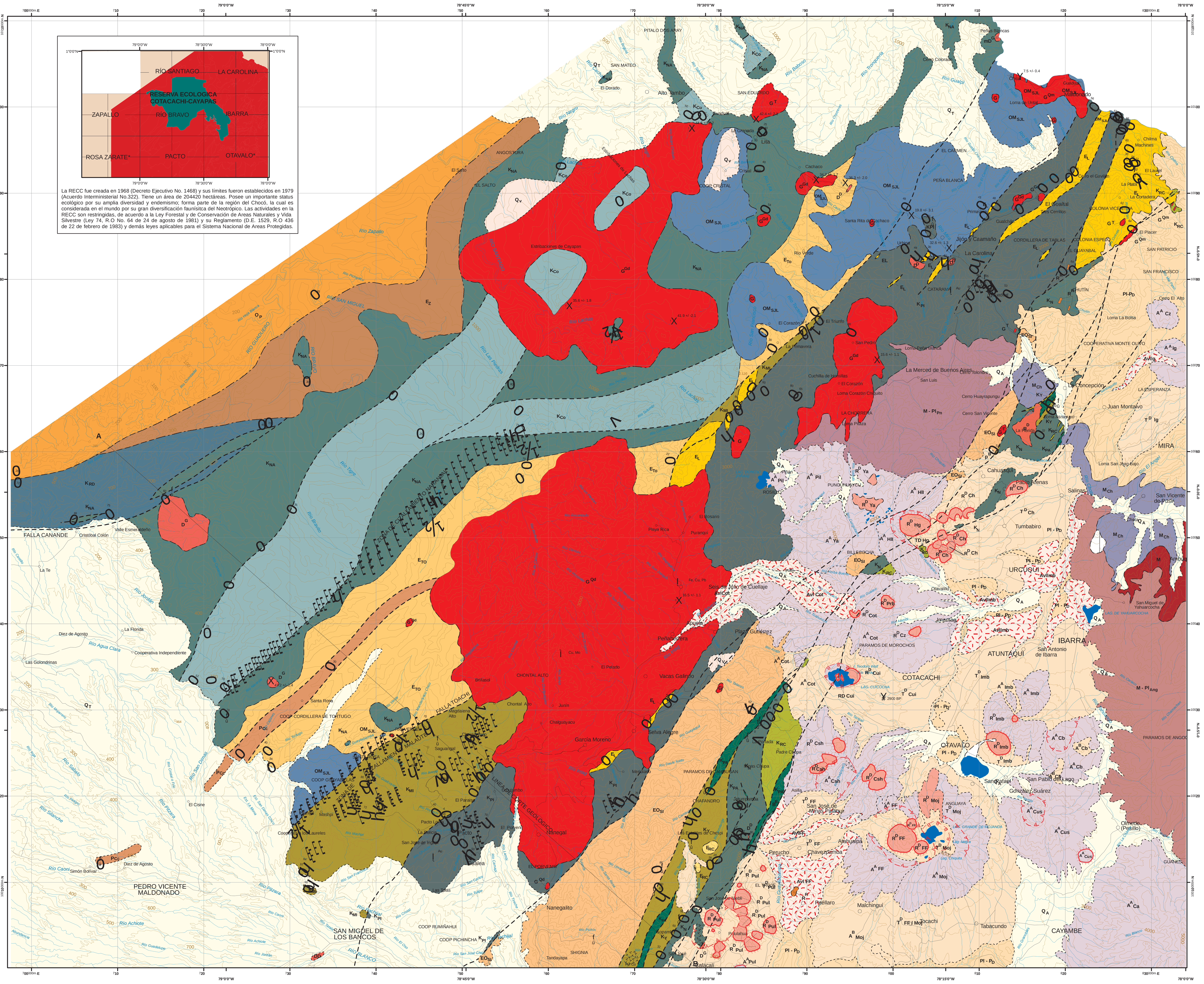
- z Caliza

ROCAS SUPERFICIALES

- Q_A Depósito aluvial
- Q_T Depósito de terraza; aluvial y lahares
- Q_V Depósito volcánico indiferenciado

SÍMBOLOS GEOLÓGICOS

- Contacto geológico
- Contacto geológico inferido
- Contacto fotogeológico
- Contacto geológico, depósito superficial
- Falla
- Falla inferida
- Caldera de avalancha
- Caldera de explosión
- Cizallamiento
- Zona de alteración hidrotermal
- Zona derrumbada
- Estratificación inclinada
- Estratificación vertical
- Estratificación volcada, buzamiento en grados
- Foliación inclinada
- Foliación vertical
- Dirección estratos más jóvenes
- Mina, cantera o prospecto
- Mina o cantera abandonada
- Edad radiométrica fission track
- Edad radiométrica potasio argón
- Edad radiométrica por 14C
- Agua Termal
- Sitio Fosilífero
- Au Oro
- Cu Cobre
- Pb Plomo
- Fe Hierro
- Py Pirita
- Mo Molibdeno

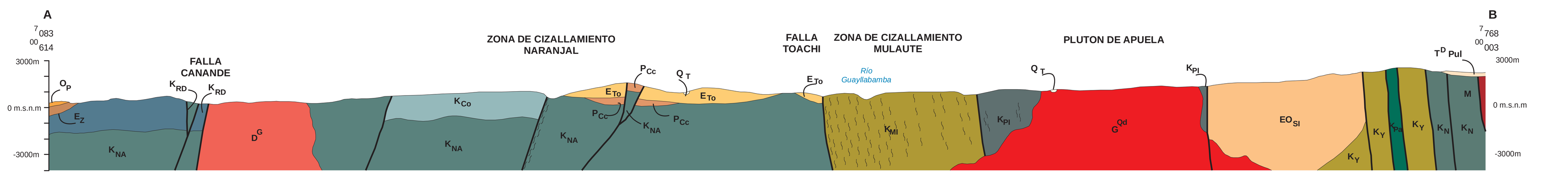


Base topográfica preparada por V. Acitimbay, CODIGEM
Mapa geológico digitalizado por S. Bray (BGS)

0 — 20 — 40 Kilometers

SÍMBOLOS TOPOGRÁFICOS

- IBARRA — Capital de Provincia
- OTAVALO — Cabecera Cantonal
- Tumbabiro — Parroquia
- Las Mercedes — Recinto
- *Cerro Atacazo* — Areas, cerros, sectores
- 1763 — Punto de control horizontal
- 2467 — Valor de cota
- Frontera
- Carretera primer orden
- Carretera segundo orden
- Carretera tercer orden
- Curva de nivel índice
- Curva de nivel secundaria
- Ríos
- Lago, laguna



LITOESTRATIGRAFIA

La **Unidad Pallatanga** (K_{Pa}) (McCourt *et al.*, 1997) está expuesta en secciones de los caminos Otavalo-Selva Alegre [7845 00287], Salinas-Lita [8197 00616; 8147 00738] y en Isopamba [7719 00038]. La secuencia comprende basaltos en almohadilla, lavas basálticas y sedimentos asociados. Lutitas rojas localizadas en [7845 00287] proporcionaron foraminíferos de edad Santoniana (c.86-83Ma) (Wilkinson, 1998b). Geoquímicamente los basaltos muestran características tanto N-MORB como P-MORB y por lo tanto se los interpreta como que representan ya sea una dorsal oceánica con influencia de pluma del manto o material de una plataforma oceánica (Boland *et al.*, 2000).

La **Unidad Natividad** (K_N) (Boland *et al.*, 2000) es una secuencia marina, predominantemente sedimentaria, con cantidades menores de lavas intercaladas, que ocurre en contacto fallado con las Unidades Pallatanga y Río Cala. La exposición principal ocurre a lo largo de los caminos Otavalo-Selva Alegre [7860 00300] y Salinas-Lita [8187 00645] y en el Río Guayllabamba [7820 00152]. La unidad consiste principalmente de areniscas, lutitas y cherts de color gris-verdoso a negro en estratos finos a medios. Los foraminíferos indican una edad Campaniana-Maestrichtiana (83-65Ma) (Wilkinson, 1998c). Los sedimentos comúnmente contienen feldespato detrítico, granos de piroxeno y clastos de lavas feldespato-fíricas. Las lavas intercaladas que se encuentran en [7860 00300 y 8193 00632] son geoquímicamente similares a las de la Unidad Río Cala, sugiriendo de esta manera una probable fuente para la unidad.

La **Unidad Río Cala** (K_{RC}) (Boland *et al.*, 2000) está expuesta en el camino Otavalo-Selva Alegre [7877 00277], Río Cala [7856 00204] y entre Salinas-Lita [8193 00632]. Consiste principalmente de lavas basálticas masivas, que típicamente contienen fenocristales frescos de piroxeno (hasta 1cm en tamaño), rocas volcanoclásticas, y ocasionalmente lentes de arenisca. Los basaltos son calco-alcalinos en composición y con afinidad a arco continental. La unidad no ha sido datada, pero la presencia de lavas similares dentro de la Unidad Natividad sugiere una edad Campaniana-Maestrichtiana (83-65Ma).

La **Unidad Mulaute** (K_{Ml}) (Hughes y Bermúdez, 1997) ocurre principalmente en el sur, donde se encuentra expuesta en varias secciones, como por ejemplo, entre Pacto Loma-Masphi [7400 00190], Pacto-Sahuangal [7474 00224] y a lo largo del Río Guayllabamba [7440 00257]. Comprende una secuencia marina, que va desde brechas y areniscas de grano grueso en el este a limolitas gris oscuras, finamente estratificadas y lutitas más al oeste. Son comunes clastos de lavas vesiculares porfiríticas así como limolitas negras. La parte occidental de la secuencia, rica en lutitas, presenta un clivaje fuerte, la zona de deformación tiene hasta 8 km. de ancho y los indicadores cinemáticos son dextrales. Basándose en los foraminíferos, se sugiere una edad Campaniana (83-74Ma) no bien establecida (Wilkinson, 1998b).

La **Unidad Pilatón** (K_{Pl}) (Egüez, 1986) aflora extensamente en el camino Gualea-Pacto [7500 00145], en el Río Guayllabamba [7687 00192] y entre Tercer Paso y La Carolina [8112 00787]. La unidad esta compuesta de conglomerados masivos volcanoclásticos, brechas, areniscas, limolitas verdes, y cherts de color gris a negro. Los clastos dentro de los conglomerados consisten de lavas porfiríticas púrpuras y sedimentos verdes de grano fino. La Unidad Pilatón probablemente fue depositada en un ambiente de abanico submarino con el material derivado de una fuente volcánica rica en material básico. Un débil clivaje penetrativo se encuentra presente a través de la mayor parte de la secuencia y las fábricas S-C desarrolladas localmente son dextrales. La edad de la Unidad Pilatón ha sido determinada anteriormente como Senoniana (c. 89-65Ma) (Sigal, 1968; Faucher y Savoyat, 1973), sin embargo, muestras recolectadas durante el presente estudio dan edades entre Campaniana y Paleocénica, con una edad Maestrichtiana (74-65Ma) como la más probable (Wilkinson, 1998 a,b,c). A lo largo de su límite oriental, la Unidad Pilatón está en contacto fallado con la Unidad Silante en el sur, y con la Unidad Natividad más al norte. En el occidente su contacto con la Unidad Mulaute ha sido anteriormente interpretado como tectónico (Hughes y Bermúdez, 1997). Sin embargo, la presencia de areniscas dentro de la Mulaute, litológicamente idénticas a aquellas de la Unidad Pilatón sugiere que las dos unidades pueden ser lateralmente equivalentes.

La **Unidad Yungilla** (K_Y) (Thalmann, 1946) aflora como una serie de lentes que se encuentran en contacto tectónico con las Unidades Pallatanga y Natividad al este y con la Unidad Silante al oeste. Los principales afloramientos ocurren a lo largo del camino Calacalí-Nanegalito y en el Río Guayllabamba [7777 00128], pero más al norte algunos afloramientos aislados también han sido mapeados a lo largo del camino Salinas-Lita. La secuencia consiste en lutitas y limolitas de color negro a gris, finamente estratificadas, localmente calcáreas, lo que puede ser interpretado como que han sido depositadas en un ambiente de abanico turbidítico marino. Los foraminíferos presentes indican una edad Campaniana-Maestrichtiana (83-65Ma) (Wilkinson, 1998a,b,c).

La **Unidad Naranjal** (K_{Na}) (Boland *et al.*, 2000) comprende una secuencia de basaltos en almohadilla, lavas basálticas a andesíticas, intrusiones de alto nivel, brechas ígneas y sedimentos intercalados, expuestos al oeste de la Falla de Toachi. La unidad ha sido llamada de esa manera por la sección que se encuentra en el Río Naranjal [7227 00293], pero basaltos en almohadillas espectaculares también afloran en el Río Guayllabamba, a la altura del Salto del Tigre [7213 00260]. Otros afloramientos ocurren en los ríos San Carlos, Bravo, Barbudo y Rumiyacu, que drenan al oeste desde la Cordillera del Toisan, a lo largo del camino Salinas-Lita y en el Río Mira, al N-O de Cachaco [7871 00952].

Los basaltos en almohadilla aflorantes en el Río Guayllabamba y más al norte en el Río Naranjal pueden representar una secuencia de hasta 1 km. de espesor y comprenden principalmente basaltos de grano fino, con cantidades menores de sedimentos volcanoclásticos intercalados. Los basaltos en almohadilla están compuestos de fenocristales de feldespato, en una matriz de feldespatos, piroxenos, opacos y clorita. Vesículas rellenas de cuarzo/clorita son comunes.

La secuencia en el Río Mira incluye tanto lavas como brechas ígneas. Las brechas [7840 00971] contienen clastos de hasta 50 cm de diámetro, de andesita fírica con plagioclasa, a menudo vesicular. La matriz, que es de una composición similar, también es rica en plagioclasas euhedrales y fue derivada de una fuente ígnea similar. En láminas delgadas, los clastos consisten de agregados de augita euhedral y fenocristales de plagioclasa dentro de una matriz de granos finos de feldespato con opacos menores. También se encuentra presente clorita intersticial, que posiblemente representa vidrio alterado.

Estudios geoquímicos de roca total indican que las lavas en el sur son principalmente toleitas de arco de isla, a pesar de que algunas muestras plotean como MORB. Basándose en los radiolarios, la edad de la Unidad Naranjal es Campaniana (83-74 Ma) (Hollis, 1999).

La **Unidad Colorado** (K_{Co}) (Boland *et al.*, 2000) aflora al oeste del área del mapa y los afloramientos más accesibles ocurren en las secciones del río al norte de Estero Colorado [7191 00338] y en el camino Lita-Alto Tambo [7762 00994]. La unidad también está preservada como grandes techos colgantes dentro del Batolito de Santiago. La secuencia está compuesta principalmente de limolitas en estratos finos a medios, cherts y areniscas de grano fino, con una mayor ocurrencia de unidades conglomeráticas de grano grueso al norte. Los conglomerados contienen lavas basalto/andesíticas vesiculares y clastos de lutitas verdes de grano fino. La matriz de los sedimentos es rica en feldespato y anfíbol, lo que sugiere una derivación de una fuente volcánica. La Unidad Colorado sobreyace a la Unidad Naranjal y la presencia de radiolarios indica una edad Campaniana (83-74Ma) (Hollis, 1999).

La **Unidad Río Desgracia** (K_{RD}) (Boland *et al.*, 2000) es una secuencia de sedimentos y lavas intercaladas, la misma que ocurre al norte del Río Canandé [6973 00544]. Su límite al sur está marcado por la Falla del Canandé, a lo largo de la cual se encuentra en contacto tectónico con la Unidad Naranjal, mientras que al norte y al oeste está sobreyacida discordantemente por la Unidad Zapallo. La sección principal a través de la unidad se encuentra a lo largo de la carretera Puerto Nuevo-Hoja Blanca [6973 00544], mientras que afloramientos adicionales se presentan en el Río Canandé y sus tributarios al norte. La secuencia consiste de turbiditas T_{ABCD} en estratos gruesos a muy gruesos en el norte, las mismas que en el sur se convierten en limolitas y lutitas grises y calcáreas en estratos finos a medios, adyacentes al Río Canandé. Las unidades conglomeráticas masivas (T_A) encontradas en el norte contienen principalmente clastos sedimentarios, pero también hay material ígneo presente en [6983 00560] y, en [6973 00546], conglomerados con clastos basalto/andesíticos que van cambiando a lavas masivas de composición similar. Los radiolarios presentes indican que la secuencia es de edad Campaniana – Maestrichtiana (83-65 Ma) (Hollis, 2000).

La **Unidad La Cubera** (Pc_C) (Boland *et al.*, 2000) es una secuencia marina de cherts de color rosado - crema - gris, finamente estratificados, que pasan hacia arriba a areniscas masivas. La unidad se encuentra bien expuesta en la cantera al oeste de Pedro Vicente Maldonado [7080 00125] y forma un rasgo importante que puede ser localizado hacia el norte en las fotografías aéreas. La secuencia está en contacto tectónico al este y al oeste con la Unidad Tortugo y los radiolarios indican una edad Paleocénica Tardía (60.5-56.5Ma) (Hollis, 1999).

La **Unidad Rumi Cruz** (E_{RC}) (Hughes y Bermúdez, 1997; véase también Egüez, 1986) ocurre únicamente en el área Los Reales [7770 00120] y se compone de conglomerados gruesos que contienen clastos volcánicos de color gris a verde, lutitas negras y vetas de cuarzo que sobreyacen disconformenente a la Unidad Yungilla. Basándose en los foraminíferos, se ha determinado una edad Eocénica para la sección de Los Reales (Wilkinson, 1998a).

La **Unidad El Laurel** (E_L) (Van Thournout, 1991) es una secuencia de lutitas de color negro a gris, finamente estratificadas con estratos ocasionales de areniscas, las que se ven mejor en el camino Tufiño-Maldonado [8250 00991; 8277 00934]. Existen ocurrencias de caliza hacia la parte superior de la unidad las mismas que están expuestas en las canteras de Selva Alegre [7741 00313], donde han sido metamorfizadas por el Batolito de Apuela, y en Hualchán [8092 00856]. Se han reportado fósiles de edad Eocénica Media a Miocénica Temprana de la caliza de Hualchán (Van Thournout, 1991). Sin embargo, la caliza de El Laurel está regionalmente correlacionada con la Formación Unacota de edad Eocénica Media a Tardía (50-35.4Ma) (Baldock, 1982; Egüez y Bourgois, 1986) y, por lo tanto se prefiere la edad Eocénica para esta unidad.

La **Unidad Silante** (EO_{Sl}) (DGGM, 1978) aflora en un cinturón N-S, limitado al este por las Unidades Pallatanga, Natividad y Yunguilla y al oeste por la Unidad Pilatón. El afloramiento principal está ubicado a lo largo del camino Calacalí-Nanegalito [7684 00010], pero otras secciones fueron mapeadas en los caminos al sur de Loma La Liberia [7730 00115; 7723 00090] y en el Río Mira a la altura de Tercer Paso [8147 00738]. La unidad consiste de una secuencia predominantemente continental de conglomerados, brechas, areniscas y lutitas típicamente rojas a púrpuras, que se derivó de una fuente rica en material volcánico. En la sección Calacalí-Nanegalito en [7646 00038], se encuentran argilitas lacustres conteniendo hojas bien conservadas de angiospermas. Se han reportado andesitas calco-alcalinas intercaladas en la parte superior de la unidad (Kehrer y Van der Kaaden, 1979; Egüez, 1986), e interpretadas por Hughes y Bermúdez (1997) como peperitas, lo que indica un volcanismo contemporáneo. Los foraminíferos sugieren una probable edad Eocénica Media a Oligocénica (Wilkinson, 1998b).

La **Unidad Tortugo** (E_{To}) (Boland *et al.*, 2000) está limitada al este por la Falla de Toachi y aflora desde el Río Guayllabamba [7275 00236], hacia el norte hasta el camino Salinas-Lita, donde se encuentra bien expuesta en el Río Lita [7865 00816]. Consiste de areniscas masivas de grano grueso, intercaladas con lutitas de hasta 1 m. de espesor. Los litoclastos están compuestos principalmente de lavas riolíticas, mientras que la matriz está dominada por feldespato saussuritizado, augita y anfíbol, lo que sugiere derivación de una fuente volcánica activa. Microfósiles presentes indican una edad Eocénica Media a Tardía (50-35.4Ma) (Wilkinson, 1998a).

La **Unidad Zapallo** (E_Z) (Boland *et al.*, 2000; véase también Bristow y Hoffstetter, 1977) es una secuencia marina que aflora en el oeste y, como se indica en el presente mapa, incluye las formaciones Zapallo y Santiago, que originalmente fueron definidas en la década de los 40 durante la exploración de la cuenca de Borbón. Afloramientos de esta unidad fueron mapeados en los Ríos Bravo [7320 00678] y San Miguel [7456 00733], desde donde se interpolaron los contactos utilizando imágenes satelitales. La secuencia sobreyace disconformemente a la Unidad Naranjal [7446 00739] y comprende conglomerados ricos en volcánicos y areniscas de grano grueso en su base, las mismas que van hacia arriba a través de areniscas masivas y lutitas finamente estratificadas y areniscas de grano fino. La evidencia de abundante microfauna indica una edad Eocénica Media a Tardía. (c. 42-35.4Ma).

La **Unidad San Juan de Lachas** (OM_{SJL}) (Salazar, 1981) comprende una secuencia subhorizontal de brechas, con lavas y sedimentos intercalados que afloran principalmente al norte y sur del Río Mira [8052 00846 a 7967 00919] y en el Río Guayllabamba [7338 00253]. La unidad está dominada por brechas andesíticas ricas en anfíbol. Edades de trazas de fisión del Oligoceno Tardío entre 23.5±1.5Ma y 24.5±3.1Ma se han obtenido de la sección del Río Guayllabamba. Intrusiones de alto nivel, ricas en hornblenda en el valle del Río Mira, que se cree pertenecen a la Unidad San Juan de Lachas dan edades K-Ar del Mioceno Temprano (19.8±3.1Ma) (este estudio) y Oligoceno Temprano (32.6±1.3Ma) (Van Thournout, 1991). Basándose en lo anterior, se cree que la Unidad tiene una edad Oligoceno-Mioceno Temprano.

La **Formación Playa Rica** (O_P) (Olsson, 1942) comprende una secuencia subhorizontal de lutitas de color café a negro, que se encuentran a lo largo del Río Cayapas y del Río San Miguel [e.g. 7332 00806], de edad Oligoceno Temprano.

La **Formación Chota** (M_{Ch}) (Van Thournout, 1991) aflora a lo largo de las riberas del Río Chota [8240 00550] y como un relicto cerca de la Estación Carchi [8189 00679], donde se encuentra en contacto fallado con la Unidad Yunguilla al este. Comprende areniscas grises masivas y conglomerados soportados por la matriz, conteniendo clastos de lutitas, cherts y granitoides débilmente foliados. La unidad no ha sido datada, pero Van Thournout (1991) le asigna una edad Miocénica basándose en consideraciones estratigráficas.

Volcánicos del Mioceno-Holoceno

La parte este del mapa está cubierta por materiales volcánicos de edad (Mio-) Plio-Cuaternario. Los principales centros de emisión están constituidos por estratovolcanes y domos, ubicados a lo largo de la cresta de la Cordillera Occidental y, en menor cantidad, en el Valle Interandino. Profundas fallas longitudinales han facilitado el ascenso de los magmas para formar el arco volcánico continental actual. Predominan andesitas piroxénicas y dacítas hornbléndicas, de afinidad calco-alcalina; basaltos y riodacitas son menos comunes. Rocas Mio-Pliocénicas de Angochagua (6.3 Ma) y Pugarán (5.0 Ma) son las más antiguas y contribuyeron al relleno inicial del Valle Interandino, el cual ha sido alimentado continuamente por los productos distales del volcanismo Cuaternario.

Este se caracteriza por la formación de estratovolcanes andesíticos de dimensiones moderadas a grandes, como son Cushnirrumi, Yanaurcu, Cusín, Cayambe, Mojanda, Cotacachi, Huanguillaró, Iguán, Cubilche e Imbabura; otros tienen tamaños modestos, por ejemplo, Pilavo y Chiltazón. Normalmente los grandes volcanes han sufrido colapsos parciales para formar calderas de avalancha y sus respectivos depósitos de escombros, pasando luego a una actividad explosiva con la formación de domos dacíticos y depósitos piroclásticos extensos, de edad Pleistocénica. La actividad más reciente (Holocénica) es de tipo explosivo y se ha dado en los complejos dómicos de Chachimbiro (5690 aAP), Cuicocha (3000 aAP) y Pululahua (2305 aAP), asociada a la formación de domos dacíticos, tefras plinianas, flujos piroclásticos y calderas de explosión (en los dos últimos casos).

Intrusivos

En el área del mapa se pueden observar dos batolitos principales: en el norte, el Batolito de Santiago aflora en una superficie de 300 km^2 mientras que al sur está el Batolito de Apuela con 750 km^2. El Batolito de Santiago y los plutones de Cachaco y Río Baboso están compuestos de granodioritas a tonalitas de grano medio a grueso ricas en hornblenda y biotita. Geoquímicamente son granitoides metaluminosos calc-alcalinos del tipo I, de arco volcánico. Las edades minerales K-Ar (7 determinaciones) para estas intrusiones dan 44-35Ma (véase también Van Thournout, 1991)

El Batolito de Apuela es una cuarzodiorita de grano medio a grueso, con hornblenda y biotita. Geoquímicamente es un granitoide cálcico, metaluminoso de arco volcánico. El batolito principal tiene una edad K-Ar de 16.5± 1.1Ma y la intrusión satélite de La Merced dio una edad similar de 15.6± 1.1Ma. Ambas edades apoyan la edad Miocénica anteriormente publicada de 18.5± 0.9Ma (Van Thournout, 1991)

La pequeña intrusión gabroica en el Río Naranjal [7277 00328] dió una edad K-Ar de 47.2 ±2.4Ma (Eoceno Medio). La edad del plutón porfirítico rico en biotita que intruye la Unidad San Juan de Lachas y aflora en el camino Chical-Maldonado [8147 01037] fue obtenida utilizando trazas de fisión, en 7.5± 0.4Ma (Mioceno Tardío). También se determinó la edad de un pequeño plutón diorítico fuertemente epidotizado que aflora al sur de San Miguel de Los Bancos, utilizando K-Ar, pero la edad de 28.7 ±3.2Ma se cree ha sido reajustada.

Depósitos de Terraza y Aluviales

Aluviales holocénicos ocurren a lo largo de los grandes valles fluviales. En el estudio actual, el término Depósito de Terraza ha sido utilizado cuando una secuencia es de origen mixto y, por ejemplo, incluye material tanto lahárico como fluvial moderno. El camino a San Miguel de Los Bancos [7345 00030] atraviesa una importante terraza aluvial, que posiblemente excede los 1000 m de espesor (BGS-CODIGEM, 1993) y que representa la amalgamación de depósitos relacionados con varios ríos incluyendo Guayllabamba, Blanco y Jordán.

Estructura

La forma de los afloramientos de las unidades principales está controlada por una serie de fallas con rumbo NNE-SO. Los límites entre las unidades a menudo están marcados por zonas anchas de deformación bastante quebradiza con fracturamiento intenso y vetas [7832 00286] y por el desarrollo de brechas y '**gouges**' de fallas. También se encuentra presente un conjunto regional de fallas conjugadas con rumbo E-O, a las que a menudo se ve en el campo como zonas altamente tectonizadas, que cortan transversalmente al rumbo regional.

Varios sistemas de fallas regionales ocurren dentro del área mapeada, los mismos que marcan límites tectónicos importantes dentro de la cordillera. El sistema de la Falla Pallatanga (McCourt *et al.*, 1997) define el límite estructural oriental de la Cordillera Occidental y está expuesto como una serie de fallas con orientación NE-SO, al oeste de Calacalí. El límite entre la Unidad Mulaute y las secuencias más occidentales está definido por la Falla Toachi-Toacazo, que también marca el límite occidental de la Zona de Cizalla de Mulaute (véase a continuación).

Más al oeste, una falla quebradiza que corre E-O y que define el límite de la Unidad Río Desgracia con la Unidad Naranjal al sur, ha sido mapeada a lo largo del Río Canandé. La importancia regional de la Falla Canandé todavía no es clara. Basándose en evidencia geoquímica preliminar, los dos lentes de rocas ígneas básicas con contactos fallados que se encuentran al norte de esta falla, han sido asignados a la Unidad Naranjal, pero datos geoquímicos adicionales podrían ayudar a resolver, por ejemplo, si existe una correlación entre estas rocas y aquellas de la Formación Piñón, reportada en la costa de Manabí (BGS-CODIGEM, 1993)

Al norte de San Miguel de los Bancos se han identificado dos zonas principales de deformación dúctil en el área mapeada. En el este se encuentra la Zona de Cizalla de Mulaute con una orientación NE-SO (véase también Hughes y Bermúdez, 1997) que comprende un cinturón de hasta 8 km. de ancho, con un desarrollo de un clivaje penetrativo "pizarroso", dentro de la porción occidental de la Unidad Mulaute generalmente de grano más fino. Los lineamientos de elongación ('**stretching**') son subhorizontales y los indicadores cinemáticos son principalmente dextrales. El límite occidental de la zona está marcado por la Falla Toachi, mientras que al este del cinturón principal de cizalla, zonas discretas de deformación dúctil de hasta un kilómetro de ancho, se presentan en las Unidades Mulaute (parte oriental) y Pilatón. De esta manera se ha desarrollado una deformación dúctil sobre un ancho a través del rumbo, de hasta 25 km. La edad del cizallamiento no es conocida, aunque se ha realizado una determinación K-Ar (en hornblenda) en una diorita sintectónica, que intruye en la Zona de Cizalla de Mulaute inmediatamente al sur del área del mapa, proporcionando una edad de 48.28± 0.5Ma (Hughes y Bermúdez, 1997).

Más al occidente se encuentra la Zona de Cizalla de Naranjal [7370 00443]. Esta estructura, anteriormente desconocida, dentro de la Unidad Naranjal es de un ancho de hasta 2 km y con rumbo variable y está asociada con la ocurrencia de litologías ricas en anfíbol. El desarrollo de clivaje no es omnipresente, pero ocurre en discretas zonas dextrales de hasta diez metros de ancho. Un clivaje penetrativo fuerte, definido por cristales elongados de anfíboles, en un techo colgante grande del Batolito de Santiago, puede definir la continuación de la Zona de Cizalla de Naranjal al norte. Se desconoce la edad de la deformación; sin embargo, en este sector de la cordillera debe ser anterior al emplazamiento del Batolito de Santiago que no está deformado y tiene una edad de 44-35Ma, y por lo tanto probablemente se relacione con la Zona de Cizalla de Mulaute.

Mineralización

Históricamente, se ha trabajado oro y platino aluvial en varios de los ríos que drenan hacia el oeste de la Cordillera del Toisán, incluyendo Cayapas, Bravo y Tigre. Las operaciones actuales son de pequeña escala y al momento del levantamiento estaban restringidas al área de Playa de Oro [7460 00970] en el Río Santiago. En otras partes, cerca de Pacto, se trabaja de manera intermitente oro aluvial en el Río Chirapi [7480 00158] y vetas de cuarzo que contienen oro, que cortan la Unidad Pilatón [7471 00131].

Otras prospectos mineros, incluyen a Junín [7610 00360], un sistema porfirítico de molibdeno-cobre emplazado dentro de un granodiorita cerca del límite del Batolito de Apuela, y El Corazón [7410 00285], donde una serie de vetas auríferas con rumbo NE cortan las Unidades Naranjal y Tortugo. Dentro de la Unidad San Juan de Lachas en Parambas [7980 00850], ocurre una mineralización polimetálica epitermal Cu-Pb-Zn-Ag-Au, consistente de vetas esporádicas dentro de una zona de alteración propilítica a silícica.

Minerales No-metálicos

Por toda el área se trabajan minerales no-metálicos, principalmente para abastecer la demanda local de materiales de construcción. De las operaciones a mayor escala, las más importantes son aquellas en Selva Alegre [7741 00313], donde se extrae caliza de la Unidad El Laurel para la producción de cemento. En Hualchán [8092 00856], se trabajan las mismas calizas, y el material de esta área es utilizado como piedra ornamental. Varias canteras grandes dentro de volcánicos Cuaternarios en el área de San Antonio de Pichincha suministran materiales de construcción para la industria de la construcción de Quito, mientras que varias canteras de ripio se encuentran en las Unidades Pilatón y Naranjal, a lo largo del carretero Salinas-Lita y en la Unidad La Cubera a la altura de Diez de Agosto [7080 00125].

Historia Geológica

Los basaltos de la Unidad Pallatanga de edad Santoniana (o posiblemente más antiguos), se interpretan como que representan material oceánico fragmentado, el mismo que regionalmente puede estar correlacionado con secuencias similares reportadas en Colombia (Kerr *et al.*, 1997). La acreción de la Unidad con la parte continental de América del Sur ocurrió en el Cretácico Tardío y resultó en un reajuste amplio de edades isotópicas (85-65Ma) tanto en la Cordillera Real del Ecuador como en la Cordillera Central de Colombia (Aspden *et al.*, 1992; McCourt *et al.*, 1984). La evidencia a favor de una probable acreción Campaniana la proporciona la discordancia regional entre la Formación Napo de edad Albiana-Santoniana y la Formación Tena de edad Maestrichtiana, en el Oriente ecuatoriano (Baldock, 1982), la que Aspden et al. (1992) sugieren que se relaciona con un período de levantamiento causado por el asentamiento del terreno Pallatanga a lo largo del sistema de Falla Calacalí-Pallatanga. Durante el Campaniano-Maestrichtiano Tardío (?) la Formación Tena y la Unidad Yungilla fueron depositadas en ambientes continentales y marinos contrastantes, a los dos lados de la emergente Cordillera Real, la Unidad Yungilla, de ambiente marino, fue depositada sobre el recién acrecionado terreno oceánico Pallatanga.

Las Unidades volcano-sedimentarias de Mulaute y Pilatón, de edad Senoniana, que se cree fueron depositadas encima de la Unidad Pallatanga, probablemente también fueron acrecionadas durante este mismo evento. Sin embargo, la fuente de ambas unidades es problemática y se requiere más investigación, incluyendo dataciones paleontológicas más precisas. De todas maneras, las edades de foraminíferos (actual estudio) sugieren que las Unidades Mulaute y Pilatón son contemporáneas con el arco volcánico continental del Río Cala, que constituye la fuente de los sedimentos de la Unidad Natividad de edad Campaniana. Sin embargo, la actual posición geográfica de estas unidades es tal que los sedimentos de grano más grueso de las Unidades Mulaute y Pilatón están localizados al oeste y por lo tanto más distantes de la fuente potencial del arco del "Río Cala", que las turbiditas distales de grano más fino de la Unidad Natividad.

Contemporáneamente con la acreción de la Unidad Pallatanga, el arco intraoceánico Naranjal, y sus secuencias marinas asociadas del Campaniano, las Unidades Colorado y Río Desgracia, se desarrollaron al oeste. El límite superior de edad para la acreción del terreno Naranjal está establecido por la presencia de una serie de granitoides no-deformados de tipo I, que intruyen la Unidad Naranjal y por la presencia de material deformado de esta última dentro del Batolito de Santiago. Las edades minerales K-Ar de estos granitoides varían entre 44-35Ma y por lo tanto indican una edad mínima de principios del Eoceno Medio para la acreción. Sin embargo, el límite inferior de este evento, no está bien establecido, pero el cambio en la naturaleza de la sedimentación de los cherts del Paleoceno Tardío (pre-acreción?) de la Unidad La Cubera a los sedimentos ricos en materiales volcánicos del Eoceno Medio a Tardío (?post-acreción) de la Unidad Tortugo podrían explicarse por la llegada del terreno del arco Naranjal. Por lo tanto, una edad Eocénica Temprana (56.5-50Ma) es la más probable para la acreción del terreno Naranjal, y se cree que este evento resultó en la deformación dúctil, generalmente dextral, que se encuentra inmediatamente al este de las Unidades Mulaute y Pilatón. Más al sur, la edad de 48.28±0.5Ma (K-Ar) reportada a partir de una diorita sintectónica foliada, que intruye en la Zona de Cizalla de Mulaute (Hughes y Bermúdez, 1997) también apoyaría esta conclusión.

Durante el Eoceno Medio a Tardío, las secuencias marinas de las Unidades Tortugo y Zapallo fueron depositadas en el terreno Naranjal recién acrecionado al oeste, mientras que al este, las Unidades Rumi Cruz y Silante, y su probable equivalente lateral, la Unidad El Laurel, fueron depositadas en el terreno Pallatanga. La ocurrencia de brechas y lavas calc-alcalinas hacia la parte superior de la Unidad Silante (Egüez, 1986; Hughes y Bermúdez, 1997) y la presencia de materiales volcánicos dentro de la sucesión sedimentaria sugieren que su deposición en la "cuenca" Silante fue contemporánea con el volcanismo de margen continental. Esta actividad volcánica probablemente se relaciona con un arco calc-alcalino que se desarrolló a lo largo del margen continental durante la acreción del terreno Naranjal, los niveles más profundos se pueden ver en las intrusiones del tipo I del Batolito Santiago y cuerpos relacionados, de edad 44-35Ma. La Unidad San Juan de Lachas, del Oligoceno-Mioceno Temprano, también puede representar un componente de este arco, que en términos regionales corresponde por lo menos en parte al volcanismo Saraguro del Eoceno Tardío-Mioceno Temprano, que se encuentra en otras partes de la Cordillera Occidental al sur de 2°S (Dunkley y Gaibor, 1997 Steinman, 1997). Sin embargo, la naturaleza casi horizontal de la Unidad San Juan de Lachas, comparada con los buzamientos moderados a fuertes registrados en las Unidades Silante y El Laurel, sugiere que la depositación de estas unidades fue separada por un período de inclinación regional. Las edades más antiguas obtenidas de los granitoides tipo I dentro del área mapeada sugieren un inicio mas temprano del magmatismo en este sector de la cordillera, observación que es apoyada por la presencia de plutonismo del Eoceno Medio en la parte occidental de Colombia.

La intrusión del gran Batolito de Apuela de tipo I, y sus cuerpos relacionados, ocurrió en el Mioceno. Una actividad volcánica intermedia a ácida más joven, fue muy difundida y estuvo caracterizada por los volcánicos Pugarán y Angochagua del Mio-Plioceno y numerosos centros Pliocénicos-Holocénicos, particularmente en el este, a lo largo del margen de la cordillera. En conjunto, éstas forman parte del actual arco continental de los Andes del Norte, que también incluye los volcanes ecuatorianos actualmente activos Guagua Pinchincha y Tungurahua, localizados al sur de 0°.

BIBLIOGRAFÍA

ASPDEN, J.A., HARRISON, S.H. & RUNDLE, C.C., 1992. New geochronological control for the tectono-magmatic evolution of the metamorphic basement of the Cordillera Real y El Oro Province, Ecuador. *Journal of South American Earth Sciences*, **6**, 77-96.

BALDOCK, J.W., 1982. Geology of Ecuador: explanatory bulletin of the National Geological Map of the Republic of Ecuador, 1:1,000,000 scale. Dirección General de Geología y Minas (DGGM), Quito.

BOLAND, M.P., PILATASIG, L.F., IBANDANGO, C.E., McCOURT, W.J., ASPDEN, J.A., HUGHES, R.A. & BEATE, B., 2000. Informe No.10, Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental, Programa de Información Cartográfica y Geológica: Geology of the Western Cordillera between 0-1ºN. CODIGEM-BGS, Quito.

BRITISH GEOLOGICAL SURVEY (BGS)-CORPORACIÓN DE DESARROLLO E INVESTIGACIÓN GEOLÓGICO MINERO-METALÚRGICA (CODIGEM)., 1993. Mapa Geológico de la República del Ecuador, escala 1:1,000,000. British Geological Survey, Keyworth, Nottingham.

BRISTOW, C.R. & HOFFSTETTER, R., 1977. Lexique Stratigraphique International; Ecuador. Second edition. Paris: Centre National de la Recherche Scientifique, 412p.

DIRECCION GENERAL DE GEOLOGIA Y MINAS (DGGM)., 1978. Hoja Geológica de Machachi (66). Escala 1:100,000.

DUNKLEY, P. & GAIBOR, A., 1997. Informe No.2, Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental, Programa de Información Cartográfica y Geológica: Geology of the Western Cordillera between 2-3ºS. CODIGEM-BGS, Quito.

EGUEZ, A., 1986. Evolution Cénozoïque de la Cordillère Occidentale Septentrionale d' Equateur (0º15'S o 1º10' S). Les minéralisation associées. Unpublished Ph. D. thesis; Universite Pierre et Marie Curie, Paris, 116p.

EGUEZ, A. & BOURGOIS, J., 1986. La Formación Apagua, edad y posición estructural en la Cordillera Occidental del Ecuador. Memoria Cuarto Congreso Ecuatoriano de Geología, Minas y Petróleos, Tomo 1, 161-178. Quito.

FAUCHER, B. & SAVOYAT, E., 1973. Esquema Geológico de los Andes Ecuatorianos. *Revue de geographie et de Geologie Dynamique*, (2), **XV Fase 1-2**, 115-142. Paris.

HOLLIS, C.J., 1999. Report (1) on radiolarian age determinations for Mision Geologica Britanica. Report Number CJH9904, Institute of Geological and Nuclear Sciences, New Zealand.

HOLLIS, C.J., 2000. Report (2) on radiolarian age determinations for Mision Geologica Britanica. Report Number CJH0001, Institute of Geological and Nuclear Sciences, New Zealand.

HUGHES, R.A. & BERMÚDEZ, R., 1997. Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental, Programa de Información Cartográfica y Geológica, Report Number 4. Geology of the Cordillera Occidental of Ecuador between 0º00' y 1º00´S.

KEHRER, W. & VAN DER KAADEN, G., 1979. Notes on the geology of Ecuador, with special reference to the Western Cordillera. *Geol. Jahrbuch*, **35**, 5-57.

KERR, A.C., MARRINER, G.F, TARNEY, J., NIVIA, A., SAUNDERS, A.D., THIRWALL, M.F. & SINTON, C.W., 1997. Cretaceous basaltic terranes in Western Colombia: Elemental, chronological y Sm-Nd isotopic constraints on petrogenesis. *Journal of Petrology*, **38**, 677-702.

McCOURT, W.J., ASPDEN, J.A. & BROOK, M., 1984. New geological and geochronological data from the Colombian Andes: Continental growth by multiple accretion. *Journal of the Geological Society of London*, **141**, 831-845.

McCOURT, W.J., DUQUE, P. & PILATASIG, L.F., 1997 Informe No.3, Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental, Programa de Información Cartográfica y Geológica: Geology of the Western Cordillera between 1-2ºS. CODIGEM-BGS, Quito.

OLSSON, A. A., 1942. Tertiary deposits of north-western South America and Panama. *Proceedings of the American Scientific Congress*, Washington, 231-287.

PILGER, R.H., 1983. Kinematics of the Southern American subduction zone from global reconstructions. Geodynamics of the Eastern Pacific Region, Caribbean and Scotia arcs, *American Geophysical Union Geodynamics Service*, **9**, 113-126.

PRATT, W.T., FIGUEROA, J. & FLORES, B., 1997. Informe No.1, Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental, Programa de Información Cartográfica y Geológica: Geology of the Western Cordillera between 3-4ºS. CODIGEM-BGS, Quito.

SALAZAR, E., 1981. Informe de comisión, realizada a Hualchan del 24 de Noviembre al 4 de Diciembre de 1981. *DGGM, Quito, Informe 5873*. Unpubl. Report.

SIGAL, J., 1968. Estratigrafía micropaleontológica del Ecuador, datos anteriores y nuevos. Informe Instituto Francés de Petróleo y Servicio Nacional de Geología y Minería, Quito.

STEINMANN, M., 1997. The Cuenca basin of southern Ecuador: tectonosedimentoary history and the Tertiary Andean evolution. Unpublished PhD thesis, Institute of Geology, ETH, Zurich, Switzerland.

THALMANN, H. E., 1946. Micropaleontology of Upper Cretaceous and Paleocene in Western Ecuador. *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*, **30**, 337-347.

VAN THOURNOUT, F., 1991. Stratigraphy, magmatism and tectonism in the Ecuadorian Northwestern Cordillera: metallogenic and geodynamic implications. PhD Thesis Katholieke Universiteit. Leuven.

WILKINSON, I. P., 1998a. Calcareous microfossils from Cretaceous and Tertiary deposits in Ecuador. Technical Report WH/98/45R Biostratigraphy and Sedimentology Research Group BGS, Nottingham UK.

WILKINSON, I. P.,1998b. Foraminifera from a suite of Late Cretaceous to Palaeogene samples of the Cordillera Occidental, Ecuador. Technical Report WH/98/56R Biostratigraphy and Sedimentology Research Group BGS, Nottingham UK.

WILKINSON, I. P., 1998c. Calcareous microfossils from a suite of samples from the Western Cordillera, Ecuador. Technical Report WH/98/163R Biostratigraphy and Sedimentology Research Group BGS, Nottingham UK.